



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 101 41 273 A 1**

(5) Int. Cl. 7:
B 62 D 37/00

(21) Aktenzeichen: 101 41 273.8
(22) Anmeldetag: 23. 8. 2001
(23) Offenlegungstag: 20. 3. 2003

(71) Anmelder:
Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München,
DE

(72) Erfinder:
Baumgarten, Götz, Dr., 85757 Karlsfeld, DE;
Lohninger, Roland, Gampern, AT

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Erhöhung der Fahrstabilität bei einem Fahrzeug

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Fahrstabilität bei einem Fahrzeug, welches durch einen Regeleingriff am Fahrzeug ein einer Fahrzeug-Instabilität entgegenwirkendes Gierrmoment bewirkt und wobei das Maß des Regeleingriffes von einem Reglerkommando abhängt, welches in Abhängigkeit von der Differenz aus dem Quotienten von Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und der tatsächlich auftretenden Gierrate andererseits bestimmt wird, derart, dass das Reglerkommando in Abhängigkeit des Minimums aus den Absolutwerten des Quotienten aus Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und eines berechneten Gierraten-Sollwertes andererseits gewählt wird, wobei dieser berechnete Gierraten-Sollwert vorzugsweise unter Verwendung der Ackermann-Beziehung in Abhängigkeit vom Fahrer-Lenkwinkel bestimmt wird. Erfindungsgemäß wird ein kleinerer Gierraten-Sollwert und ein größerer Gierraten-Sollwert berücksichtigt, wobei kein Regeleingriff erfolgt, wenn die tatsächliche Gierrate zwischen diesen beiden Gierraten-Sollwerten liegt. Vorgesehen sein kann eine zusätzliche Vorsteuerung, die auf einem linearen Modell ohne Berücksichtigung von Reifen-Sättigungserscheinungen beruht. Dabei ist ein im Regelalgorithmus dargestelltes Modell der Regelstrecke mit einem Regelkreis versehen, der diesem Modell ein wünschenswertes Führungsverhalten aufprägt.

DE 101 41 273 A 1

DE 101 41 273 A 1

DE 101 41 273 A 1

Beschreibung

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Fahrstabilität bei einem Fahrzeug, welches durch einen Regeleingriff am Fahrzeug an einer Fahrzeug-Instabilität entgegenwirkendes Giernmoment bewirkt und wobei das Maß des Regeleingriffes von einem Reglerkommando abhängt, welches in Abhängigkeit von der Differenz aus dem Quotienten von Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und der tatsächlich auftretenden Gierrate andererseits bestimmt wird, derart, dass das Reglerkommando in Abhängigkeit des Minimums aus den Absolutwerten des Quotienten aus Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und eines berechneten Gierraten-Sollwertes andererseits gewählt wird, wobei dieser berechnete Gierraten-Sollwert vorzugsweise unter Verwendung der Ackermann-Beziehung in Abhängigkeit vom Fahrer-Lenkinkel bestimmt wird, und geht aus von der DE 100 09 921 A1.
- [0002] Kraftfahrzeuge sind bei ihrer Fortbewegung, insbesondere bei der Bewegung auf einer gewünschten (Fahr-)Bahn, auf den Reibschluss zwischen Reifen und Fahrhahn angewiesen. Das gilt für Beschleunigungsvorgänge und Bremsvorgänge, bei denen die Reifen Umlangkräfte aufbringen, sowie auch für eine Kurvenfahrt des Fahrzeugs, bei der die Reifen Seitenkräfte aufbringen. Neben den Reiseneigenschaften bestimmen dabei die Rad-Aufstandschaft und der Fahrbahnreibwert, in welcher Größe Umlangkraft bzw. Seitenkraft zur Verfügung steht, wenn ein bestimmter Schlupf oder Schräglauftwinkel gegeben ist. Problematisch dabei ist der Einfluss des Fahrbahnreibwertes, der sehr bestimmd ist, aber andererseits nur sehr schwierig zu bestimmen ist. Er bestimmt auch, wieviel Umlangkraft oder Seitenkraft maximal möglich sind.
- [0003] Die Abhängigkeit der Reifenseitenkraft vom Schräglauftwinkel ist in der beigefügten Fig. 2 dargestellt. Innerhalb eines bestimmten Schräglauftwinkelbereichs ist die Seitenkraft F_y proportional zum Schräglauftwinkel α_{fa} . Die Größe dieses linearen Bereichs hängt ebenfalls vom Reibwert ab. Die Steigung der Kennlinie im linearen Bereich ist die Schräglauftsteifigkeit. Die Schräglauftsteifigkeit ändert sich nur wenig über dem Reibwert. Außerhalb des linearen Bereiches schließt sich zu jeder Seite ein nichtlinearer Übergangsbereich und der Bereich der Reifensättigung an. Letzterer hat eine etwa konstante oder sogar abnehmende Reifenseitenkraft. Im folgenden wird der lineare Bereich als Sollfahrbereich definiert. Die maximal erreichbare Seitenkraft ist in niedrigen Reibwert-Bereichen sehr viel niedriger als in Bereichen mit höheren Reibwerten. Der Fahrbahn-Reibwert bzw. der Reibwert zwischen Fahrbahn und Fahrzeugreifen bestimmt also, wie hoch das Seitenkraftmaximum liegt. Die Reifenaufstandschaft ist eine weitere Größe, welche die Reifenkennlinie beeinflusst: Je höher die Aufstandschaft ist, desto höher ist die zu einem bestimmten Schräglauftwinkel gehörige Seitenkraft.
- [0004] Das fahrdynamische Verhalten des Fahrzeugs ist im Reifensättigungsbereich völlig anders und sehr viel schwieriger zu beherrschen als im sog. Sollfahrbereich, d. h. dem üblichen Bereich, in dem das Fahrzeug üblicherweise bewegt wird. Der Fahrer des Kraftfahrzeuges ist gewöhnlich nur mit dem Fahrverhalten im Sollfahrbereich vertraut. In extremen Fahrsituationen oder bei kleinen Reibwerten jedoch kann das Fahrzeug in den Reifensättigungsbereich kommen. Das kann den Fahrer überraschen, woraufhin das Fahrzeug-Heck ausricht und das Fahrzeug ins Schleudern kommt. Somit sind das Maximum der Reifenseitenkraft und der Reifensättigungsbereich die wichtigen Einflüsse auf die Schleuderneigung des Fahrzeugs.
- [0005] Eine stabile Bewegung des Fahrzeugs erfordert, dass immer ein rückdrehendes Giernmoment vorhanden ist, das den Schwimmwinkel reduzieren kann. Dieses Giernmoment hängt von der Seitenkraft an den vorderen und an den hinteren Rädern des Fahrzeugs ab. Der Betrag des rückdrehenden Giernomentes kann durch Reduzierung der vorderen Seitenkraft oder durch Erhöhung der hinteren Seitenkraft erhöht werden. Wenn also bei einer Gierbewegung mit wachsendem Schwimmwinkel die hintere Seitenkraft durch auftretende Reifensättigung konstant bleibt, jedoch die vordere Seitenkraft noch anwächst, kann dieses rückdrehende Giernmoment zusammenbrechen. Das kann verhindert werden, indem die Neigung des hinteren Schräglauftwinkels, in die Reifensättigung zu laufen, abgebaut wird. Daher röhrt der Gedanke, schon "präventiv" im Sollfahrbereich sog. Überschiebe im Verlauf des hinteren Schräglauftwinkels zu vermeiden, wie dies bereits in der eingangs genannten DE 100 09 921 A1 erwähnt ist.
- [0006] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, mit technischen Mitteln im Fahrzeug ein Schleudern so weit als möglich zu verhindern.
- [0007] Stand der Technik sind derzeit Systeme (bekannt unter den Abkürzungen DSC, ASC, ESP etc.), die durch Bremseingriffe an einzelnen Rädern Giernomente erzeugen, welche das Schleudern im vielen Fällen verhindern können. Ein entsprechender System-Eingriff wird vom Fahrer bemerkt, da hierdurch gezwungenermaßen die Geschwindigkeit reduziert wird und unter Umständen unangenehme Geräusche und Vibrationen verursacht werden. Diese Art des Eingriffs wird jedoch erst dann aktiv, wenn eine bestimmte fahrdynamische Grenze überschritten worden ist.
- [0008] Derzeit in der Entwicklung befinden sich Systeme, die durch einen der Fahrerlenkeingabe überlagerten Lenkwinkel ein Giernmoment erzeugen und so ebenfalls das Schleudern in vielen Fällen verhindern können. Bekannt ist in diesem Zusammenhang die sog. Überlagerungslenkung, bei der durch ein im Lenkstrang installiertes spezielles Additionsgetriebe dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkradwinkel ein durch einen Aktuator erzeugter Zusatzlenkwinkel hinzugefügt wird. Bekannt sind ferner die sog. steer-by-wire-Systeme, bei denen keine Lenksäule oder Lenkspindel mehr vorhanden sind, sondern der Vorderrad-Lenkinkel alleine durch einen Aktuator bzw. Stellmotor erzeugt wird.
- [0009] Diese lenkenden Systeme können ständig stabilisierend und somit quasi kontinuierlich eingreifen, ohne dass der Fahrer den Eingriff bemerkt. Dadurch versuchen sie, das Schleudern quasi bereit präventiv zu verhindern, so dass die genannte fahrdynamische Grenze möglichst gar nicht oder zumindest nur geringfügig überschritten wird. Die Zahl und Stärke der heute noch üblichen stabilisierenden Bremseingriffe kann mit derartigen Lenkeingriff-Systemen deutlich reduziert werden. Somit wird der Stand der Technik durch Systeme mit Lenkeingriffen und Systeme mit Bremseingriffen dargestellt, die sich in ihren Wirkungsbereichen vor und hinter der sog. fahrdynamischen Grenze ergänzen.
- [0010] In der eingangs genannten DE 100 09 921 A1 ist ein Algorithmus beschrieben, mit Hilfe dessen Stellkommandos für den Aktuator (oder Stellmotor) eines Lenksystems berechnet werden können, wobei es sich um den Aktuator einer Überlagerungslenkung oder eines steer-by-wire-Systems handeln kann. Dieser Algorithmus ist als Schaubild noch-

DE 101 41 273 A 1

mals in der beigefügten Fig. 1 dargestellt.

[0011] Dabei sowie im weiteren werden durch folgende Buchstaben die folgenden Größen gekennzeichnet:

Fy	Radseitenkraft	5
by	Querbeschleunigung	
r	Gierrate	
V	Fahrzeug-Geschwindigkeit	
deltaL	Fahrer-Lenkinkel	
delta_c_ges	Lenaktuator-Kommando	
delta_c_GRR	Stellkommando der Gierratenregelung	10
I	Radstand	

[0012] Nun wird insbesondere wird auf den unteren als "Software" bezeichneten Block in Fig. 1 verwiesen, wonach das berechnete stabilisierende Stellkommando "delta_c_GRR" der Gierratenregelung für den Aktuator gebildet wird aus einem Gierraten-Sollwert "rsoll_res", der für seinen Betrag das Minimum der Beiträge des lenkradwinkelabhängigen Sollwertes "rsoll_acker" einerseits eines Wertes "r_by" andererseits nimmt.

[0013] Die genannten Werte werden dabei nach folgenden Gleichungen (Gl.) bestimmt:

$$(Gl. 1) \quad rsoll_res = \text{sign}(rsoll_acker) \cdot \text{MIN}[\text{abs}(rsoll_acker), \text{abs}(r_by)]$$

[0014] Die Arbeitsweise dieser Minimumbildung ist in der beigefügten Fig. 3 gezeigt. Das Vorzeichen des Gierraten-Sollwerts "rsoll_res" entspricht dem Vorzeichen von "rsoll_acker".

[0015] Der Wert "rsoll_acker" wird mit Hilfe des Fahrer-Lenkinkels "deltaL" aus der Multiplikation von "deltaL" mit "h_acker" und zumeist einer anschließenden PT1-Filterung gebildet, wobei für "h_acker" die folgende Gleichung (2) gilt:

$$(Gl. 2) \quad h_acker = V/(I \cdot (1 + (V/Vchar)^2))$$

[0016] "Vchar" ist dabei die sog. charakteristische Geschwindigkeit, die fahrzeugabhängig ist und für ein untersteuern-des Fahrzeug die Stationärverstärkung für Gierrate etc. mitbestimmt. Je größer der Wert von "Vchar" ist, desto größer ist auch die Stationärverstärkung.

[0017] Schließlich stellt die Größe "r_by" den Quotienten aus der gemessenen Fahrzeug-Querbeschleunigung und der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit dar, gemäß der folgenden Gleichung (3):

$$(Gl. 3) \quad r_by = by/V.$$

[0018] Wie aus Fig. 1 weiter hervorgeht, wird der Sollwert "rsoll_res" schließlich mit der aktuell gemessenen Gierrate (diese ist mit dem Buchstaben r bezeichnet) verglichen und bildet die Regeldifferenz "rdiff". Aus dieser berechnet der Regeldifferenzweig, hier durch eine einfache Verstärkung k dargestellt, das Stellkommando "delta_c_GRR" der Gierraten-regelung für den Lenktaktuator.

[0019] Durch die in (Gl. 1) vorgenommene Minimumbildung wird dabei erreicht, dass auch im Falle einer Reifensättigung ein geeigneter Sollwert "rsoll_res" für die Gierrate entsteht, um das Fahrzeug zu stabilisieren. Das ist besonderes wichtig bei niedrigen Fahrbahnreibwerten, da dann sehr häufig Reifensättigung entsteht (vgl. Fig. 2). Würde man nämlich den Sollwert "rsoll_acker" verwenden, so würde der Regler bei Reifensättigung eine zu große Sollgierrate mit der gemessenen Gierrate vergleichen und so zu einem zu starken Stellkommando kommen, das die Reifensättigung an den Vorderrädern verschlimmern und damit das Fahrzeugverhalten nicht verbessern, sondern verschlechtern würde.

[0020] Die Berücksichtigung von rsoll_acker geschieht aus dem folgenden Grund:

Erzeugt der Fahrer selbst stabilisierende Lenkeingriffe durch "Gegenlenken" zum ausbrechenden Fahrzeugheck, so beeinflusst er über "rsoll_acker" den Giersollwert "rsoll_res" und wird damit von der Gierratenregelung durch ein entsprechendes Stellkommando "delta_c_GRR" bei seinem Gegenlenken unterstützt, wie dies ausführlicher in der bereits mehrfach genannten DE 100 09 921 A1 erläutert ist.

[0021] Grundsätzlich besteht bei diesem vorbekannten Stand der Technik durch entsprechende Parametrierung der Sollwertberechnung für "rsoll_acker" die Wahlmöglichkeit, ob bei einer stationären Fahrzeug-Kurvenfahrt in der genannten Minimumbildung die Größe "rsoll_acker" oder die Größe "r_by" für den Betrag von "rsoll_res" wirksam sein, d. h. zugrunde gelegt werden soll.

[0022] Dies hängt offensichtlich davon ab, welcher der beiden genannten Beiträge der kleinere ist.

[0023] Wird dabei die Größe "r_by" ausgewählt, so ist neben der Gierratenrückführung folglich als zweite die Rück-führung der Querbeschleunigung wirksam, wie aus der beigefügten Fig. 1 hervorgeht. Das bedeutet, dass dann die Re-geldifferenz "rdiff" wegen der folgenden Gleichung (4)

$$(Gl. 4) \quad \betaeta_dot = by/V - r$$

die Schwimmwinkelgeschwindigkeit "beta_dot" darstellt. Die beiden Rückführungen stellen also zusammen eine Rück-führung der Schwimmwinkelgeschwindigkeit "beta_dot" dar.

[0024] Diese Variante hat den Vorteil, dass bei stationärer Kurvenfahrt das Stellkommando "delta_c_GRR" wegen "be-ta_dot" = 0 ebenfalls den Wert "Null" annimmt, d. h. dass seitens des Gierratenreglers kein Stellkommando ausgegeben wird. In dieser stabilen Fahrsituation ist ein Aktivwerden des Gierratenreglers und somit ein Stellkommando del-ta_c_GRR ≠ 0 nicht erwünscht, da ein Eingreifen der Gierratenregelung nicht erforderlich ist. Ein Nachteil dieser Va-

DE 101 41 273 A 1

riante ist, dass die Regelverstärkung k relativ klein und insbesondere kleiner ist als bei der im folgenden Absatz beschriebenen Variante ist, so dass das stabilisierende gegenlenkende Stellkommando insbesondere bei auftretender Reifensättigung kleiner ist. Der Grund dafür ist, dass sich wegen der Reifensättigung die Querbeschleunigung trotz der instabilen Gierbewegung nicht mehr ändert und somit durch sie das Stellkommando nicht mehr verändert wird.

5 [0025] Die zweite Variante ist, dass durch entsprechende Parametrierung der Berechnung von "rsoll_acker" im Stationärfall die Größe "rsoll_acker" und folglich nur die Rückführung der Gierrate wirksam ist. Diese Variante ist grundsätzlich wegen der höheren Reglerverstärkung gegenüber der erstgenannten Variante zu bevorzugen, weshalb sich die vorliegende Erfahrung nur mit dieser (zweitgenannten) Variante befasst. Wenn also bei der Berechnung von "rsoll_acker" im Stationärfall die Größe "rsoll_acker" und folglich nur die Rückführung der Gierrate wirksam ist, so ergibt sich eine bessere Stabilisierung bei Reifensättigung, ferner eine bessere Störunterdrückung (bspw. bei Seitenwind, bei Spurrillen etc.) und vorteilhafterweise auch eine bessere Unterdrückung der Störungen aufgrund Straßen-Unebenheiten im Messsignal der Querbeschleunigung "by".

10 [0026] Nicht unerwähnt bleiben soll ein Nachteil dieser sog. zweiten Variante in ihrer bislang beschriebenen Form. Dieser Nachteil, der mit der vorliegenden Erfahrung aufgehoben werden soll, ist darin zu sehen, dass im Stationärfall, wenn die Schwimmwinkelgeschwindigkeit β_{dot} den Wert "0" annimmt, wegen Gleichung (5)

$$(Gl. 5) \quad r_{by} = by/V = r$$

und mit Gleichung (6)

$$20 (Gl. 6) \quad rsoll_acker < r_{by} = by/V = r$$

eine stationäre Regeldifferenz "rdiff" gemäß Gleichung (7) entsteht (vgl. hierzu auch Fig. 3):

25 (Gl. 7) $rdiff = rsoll_acker - r < 0$

[0027] Diese stationäre Regeldifferenz "rdiff" erzeugt auch im Stationärfall unerwünschterweise ein Stellkommando im Sinne eines stationären Gegenlenkens.

30 [0028] Wie bereits erwähnt, ist es Aufgabe der vorliegenden Erfahrung, eine Maßnahme zur Vermeidung dieses unerwünschten Verhaltens aufzuzeigen.

[0029] Zur Lösung dieser Aufgabe ist vorgesehen, dass bei einem Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ein kleinerer Gierraten-Sollwert und ein größerer Gierraten-Sollwert berücksichtigt wird, wobei kein Regeleingriff erfolgt, wenn die tatsächliche Gierrate (r) zwischen diesen beiden Gierraten-Sollwerten liegt. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

35 [0030] Erfahrungsgemäß werden zwei Sollwerte für die Gierrate herangezogen, die sich in ihrer Größe bzw. ihrem Wert unterscheiden. Im wesentlichen entsprechen diese beiden Gierraten-Sollwerte dem Gierverhalten des Fahrzeugs in unterschiedlichen Konfigurationen. Es wurde nämlich erkannt, dass die weiter oben bereits angeführte Ungleichheit der Größen "rsoll_acker" und "r_by" deutlich durch die vorliegende sog. Fahrzeug-Konfiguration beeinflusst wird. Diese sog. Fahrzeug-Konfiguration beinhaltet dabei den Beladungszustand (und somit die Fahrzeug-Masse, dessen Trägheitsmoment sowie die Schwerpunktstellung) und ferner insbesondere den Reifenzustand, nämlich ob es sich um Sommerreifen oder Winterreifen handelt, sowie den Reifendruck und das Alter der Fahrzeug-Reifen.

40 [0031] In der beigefügten Fig. 4 ist für einige bei einem Fahrzeug mögliche extreme Fahrzeugkonfigurationen deren Einfluss auf die Querdynamik am Beispiel einer Sprunganregung im Lenkwinkel und der Sprungantwort von "r_by" dargestellt. Die durchgeführte Simulation benutzt dabei ein lineares Modell ohne Reifensättigung. Wie ersichtlich unterscheiden sich diese Konfigurationen nicht nur in ihrem dynamischen Verhalten, sondern auch deutlich im Stationärverhalten. Die mit der Nr. 18 bezeichnete Fahrzeugkonfiguration hat dabei die kleinste Stationärantwort und die mit der Nr. 32 bezeichnete Fzg.-Konfiguration hat die größte Stationärantwort. Somit müsste "rsoll_acker" im Stationärfall kleiner sein als das Signal für "r_by" von der Konfiguration mit der Nr. 18.

45 [0032] Solange sich das Fahrzeug also in einer stabilen Kurvenfahrt befindet und somit keine Stabilisierung durch die Gierratenregelung benötigt wird, soll somit das Stellkommando der Gierratenregelung entsprechend der folgenden Gleichung (8)

$$(Gl. 8) \quad \delta_c \cdot GRR = k \cdot rdiff$$

55 vom Wert "Null" sein. Ziel ist es somit, ein grundsätzlich unerwünschtes stationäres Stellkommando bei stabiler Kurvenfahrt zu beseitigen.

[0033] Der Kernpunkt zur Vermeidung eines stationären Regel-Eingriffs besteht nun darin, im Stationärfall eine Regeldifferenz vom Wert "Null" zu erhalten. Nutzt man die Information aus der bereits erläuterten Fig. 4, dass sich im Falle eines linearen Fahrzeugverhaltens die Gierrate nur im Bereich zwischen den Verläufen der beiden Konfigurationen mit den Nummern 18 und 32 befinden kann, so ist ein Herauslaufen der Gierrate aus diesem Band ein eindeutiges Zeichen einer Abweichung vom linearen Verhalten, z. B. durch Reifensättigung. In diesem Falle ist ein Eingreifen des Reglers durch einen entsprechenden Verlauf der Regeldifferenz wieder erforderlich.

60 [0034] Die Lösung besteht somit im Erzeugen nicht nur eines, sondern zweier Sollwerte für die Gierrate. Der erste Sollverlauf stellt den sog. minimalen linearen Verlauf dar, und kann ähnlich der Konfiguration Nr. 18 in der Simulation von Fig. 4 sein). Der zweite Sollverlauf stellt den sog. maximalen linearen Verlauf dar (und kann ähnlich der Konfiguration Nr. 32 in der Simulation von Fig. 4 sein). Beispielsweise entspreche der größere Gierraten-Sollwert einem wenig beladenen Fahrzeug, das mit Sommerreifen bestückt ist, während der kleinere Gierraten-Sollwert für das gleiche Fahrzeug, jedoch extrem hoch beladen und mit Winterreifen ausgerüstet zutreffe. In diesem Zusammenhang sei drauf hingewiesen,

DE 101 41 273 A 1

dass diese Sollwerte durchaus experimentell unter den geschilderten Randbedingungen ermittelt werden können.

[0035] Mit Hilfe dieser zwei lenkwinkelabhängigen Sollgierraten, die im weiteren als "rsoll_acker_max" und "rsoll_acker_min" bezeichnet werden, kann man eine lenkwinkelabhängige Totzone schaffen, die die Regeldifferenz berechnet.

[0036] Hierzu wird auf die beigelegte Fig. 5 verwiesen, in der über der Gierrate "r" (aufgetragen auf der Abszisse) die Regeldifferenz "rdiff" auf der Ordinate aufgetragen ist. Grau unterlegt dargestellt ist dabei die konventionelle Regeldifferenz-Bildung, während in schwarzen Linien die Regeldifferenz-Bildung mit erfahrungsgemäßer sollwertabhängiger Totzone dargestellt ist. Liegt die gemessene Gierrate "r" zwischen "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max", so nimmt – wie gewünscht – die Regeldifferenz "rdiff" den Wert "Null" an. Erst, wenn die Gierrate "r" außerhalb des von "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max" aufgespannten Bandes liegt, ist die Regeldifferenz "rdiff" ungleich "Null".

[0037] Im übrigen gilt dann, wenn der Fahrer-Lenkinkel den Wert "Null" besitzt und damit auch "rsoll_acker_min" gleich "rsoll_acker_max" gleich "Null" ist, dass sich die Regeldifferenz wieder wie die normale Regeldifferenzbildung verhält, was in Fig. 5 zum Vergleich als unterlegter breiterer grauer Graph dargestellt ist.

[0038] Bei der weiteren Berechnung sollte die bereits genannte Minimumbildung, die mit Hilfe der Querbeschleunigung "by" bzw. dem Signal "r_by" die Sollgierrate "r_soll_acker" im Falle einer Reifensättigung verkleinert, angepasst werden, da nun nicht nur eine einzige Sollgierrate "rsoll_acker", sondern zwei unterschiedlich große Sollgierraten vorliegen. Dieser Sachverhalt ist in der beigelegten Fig. 6 dargestellt. Wie im bekannten Stand der Technik die Größe "rsoll_acker", so wird jetzt die "kleinere" Sollgierrate rsoll_acker_min mit dem Signal für "r_by" minimiert. Bezuglich der erfahrungsgemäßen größeren Sollgierrate "rsoll_acker_max" wird eine andere, folgende Reduzierung vorgeschlagen:

Die Minimierung von "rsoll_acker_min" bewirkt immer eine Verkleinerung um einen festen Prozentsatz (bspw. x %). Die größere Sollgierrate "rsoll_acker_max" wird nun verkleinert, indem sie prozentual ebenfalls um diesen gleichen Prozentsatz (x%) reduziert wird.

[0039] Durch diese Modifizierung wird die Größe "rsoll_acker_min" zu "rsoll_acker_min_Min", und die Größe "rsoll_acker_max" wird zu "rsoll_acker_max_Min", so wie dies in Fig. 6 und insbesondere auch in Fig. 7 dargestellt ist.

[0040] Fig. 7 zeigt dabei die soweit eingeführten Punkte und basiert auf dem "Software"-Teil der bereits erläuterten Fig. 1, die den bekannten Stand der Technik wiedergibt. Wie ersichtlich liefern nun zwei Sollwertbildner die beiden erfahrungsgemäßen Giersollwerte, die dann in der Minimumbildung mit Hilfe von "r_by" gegebenenfalls modifiziert werden. Diese werden dann zur Regeldifferenzbildung geschickt, die mit Hilfe der gemessenen Gierrate die Regeldifferenz bildet (vgl. auch Fig. 5).

[0041] Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dann, wenn die Größe "r_by" den Wert "Null" annimmt. Aufgrund Gleichung (9) gilt:

$$(Gl. 9) \quad 0 = r_{\text{by}} = \text{rsoll_acker_min_Min} = \text{rsoll_acker_max_Min},$$

und zwar unabhängig davon, welchen Wert "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max" haben.

[0042] Liegt "r_by" zwischen "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max", so gelten Gleichungen (10) und (11):

$$(Gl. 10) \quad \text{rsoll_acker_min} = \text{rsoll_acker_min_Min}$$

$$(Gl. 11) \quad \text{rsoll_acker_max} = \text{rsoll_acker_max_Min}.$$

[0043] Es kann sich als störend erweisen, dass aufgrund der erläuterten sog. sollwertabhängigen Totzone in der Regeldifferenzbildung bei einem Ausbrechen des Fahrzeug-Hecks sich dies zwar sofort in der Gierrate bemerkbar macht, dass aber der Regler erst dann reagiert, wenn die Gierrate das sog. Totzonen-Band verlässt und die Regeldifferenz von Null abweicht. Durch dieses verzögerte Eingreifen des Reglers könnte sich somit die Stabilisierungswirkung des Reglers in unerwünschter Weise verringern.

[0044] Kompensiert werden kann dies durch Einführung einer Vorsteuerung, die unabhängig von der gemessenen Gierrate ein stabilisierendes Lenkommando abgibt, welches somit unverzögert eine sofortige Stabilisierung bewirken kann. Hierzu wird auf die beigelegte Fig. 8 verwiesen, in der diese Merkmal – ergänzend zur Darstellung von Fig. 7 – aufgenommen ist (vgl. den schattierten Block).

[0045] Wie dargestellt besteht das Stellkommando der solchermaßen um eine Vorsteuerung ergänzten Gierratenregelung aus zwei Teilen, nämlich dem Kommando des Regeldifferenzweigs delta_c_RF und dem Kommando der Vorsteuerung delta_c_VS. Die Vorsteuerung kann zum Beispiel ein dynamischer Filter sein, dessen Parameter mit der Geschwindigkeit V angepasst werden und wobei aus dem Fahrer-Lenkinkel delta_L das entsprechende Vorsteuerkommando berechnet wird.

[0046] Dabei kann die Auslegung der Vorsteuerung auf einem linearem Modell des Fahrzeugs beruhen, das keine Reifensättigung berücksichtigt, also beispielsweise auf dem bekannten Einspurmodell mit linearen Schräglauftiefeigkeiten. Somit ist immer dann, wenn das reale Fahrzeug sich im linearen Bereich der Reifenkennlinie (vgl. Fig. 2) befindet und das reale Fahrzeug der Modellannahme der Vorsteuerung entspricht, das Stellkommando der Vorsteuerung völlig ausreichend, um das Fahrzeug präventiv im linearen Bereich zu stabilisieren, d. h. den Überschwinger oder Überschießen im hinteren Schräglauftwinkel zu vermeiden.

[0047] Dies genau ist das Regelungsziel, so lange das Fahrzeug ein lineares Verhalten aufweist, d. h. keine Reifensättigung zeigt. Voraussetzung ist, dass sich eine Änderung des Fahrzeugverhaltens durch Beladung, Reifen, oder ähnliches nicht derart stark auswirkt, dass die Modellannahme für die Vorsteuerung nicht mehr genau genug ist. Ein weiterer Vorteil der Vorsteuerung ist, dass ihr Stellkommando nur von den unverrauschten Signalen des Lenkwinkels und der Geschwindigkeit abhängt und somit kein Messrauschen zeigt. Dadurch ist das Stellkommando delta_c_VS ein sehr "glattes" Signal und ist bei Benutzung einer Überlagerungslenkung im allgemeinen für den Fahrer im Lenkradmoment im Ge-

gensatz zu dem messrauschbehafteten Signalanteil δ_c _RF des Regeldifferenzweigs nicht oder sehr wenig spürbar.
[0048] Die in Fig. 8 gezeigte getrennte Realisierung von Vorsteuerung und Sollwertbildung kann sich jedoch als aufwendig erweisen, da die Sollwertbildungen auf die Vorsteuerung abgestimmt werden müssen. Grund dafür ist, dass sich durch den Einfluss der Vorsteuerung die Fahrzeug-Gierrate ändert und sich damit bei gleichbleibender Sollwertbildung unerwünschterweise eine Regeldifferenz einstellen würde. Hier kann ein Konzept einer sog. "Modellvorsteuerung" eingesetzt werden, bspw. wie es im DLR Forschungsbereich "Ein neues Konzept zur Rekonfiguration von Flugreglern", 1996, von Götz Baumgarten, beschrieben ist. Dieses integriert die Vorsteuerung und die Sollwertbildung, so dass eine gegenseitige Anpassung unnötig wird, was in der beigefügten Fig. 9 gegenüber Fig. 8 ergänzend dargestellt ist. In dieser Fig. 9 wurde dabei die Berücksichtigung des Parameters V aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen.

[0049] Konkret kann im Rahmen einer "Modellvorsteuerung" ein explizit im Regelalgorithmus dargestelltes Modell der Regelstrecke, z. B. ein Einspurmodell, mit einem Regelkreis versehen werden, der dem Modell ein wünschenswertes Führungsverhalten aufprägt. Da man aus diesem geregelten Modell alte Größen abgreifen kann, kann es als Sollwertgeber und als Vorsteuerung gleichzeitig dienen. Fig. 9 zeigt zwei Modellvorsteuerungen, um die zwei Sollwerte "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max" zu generieren. Beide bieten mit ihrem Modellreglerausgang ein verwendbares Vorsteuerkommando für das reale Fahrzeug an. Hier wurde willkürlich das obere für die kleine Sollgierrate für das Vorsteuerkommando ausgewählt.

[0050] Aus der Notwendigkeit für eine gute Vorsteuerung heraus, dass das Modell möglichst genau die Regelstrecke darstellt, ist auch ein drittes Modell denkbar, das in seinem Verhalten bzw. seinen Parametern für Masse, Gierträgheitsmoment, Schräglaufsteifigkeiten und Schwerpunktlage quasi die Mittelwerte darstellt und einzig für die Bereitstellung des Vorsteuerkommandos vorgesehen ist. Die beiden anderen geregelten Modelle würden dann nur für die beiden Gierratensollwerte herangezogen werden.

[0051] Es hat sich gezeigt, dass bei der – wie weiter oben erläutert wurde – grundsätzlich zu bevorzugenden Variante, nämlich im Stationärfall die Größe "rsoll_acker" und folglich nur die Gierrate zurückzuführen, eine unterschiedliche Dynamik der beiden Eingangsgrößen bei der genannten Minimumbildung in (Gl. 1) vorliegt. Dies geht auch aus den Verläufen von "rsoll_acker" und "r_by" in Fig. 3 hervor, insbesondere im linearen Querdynamikbereich des Fahrzeugs, der mit dem linearen Teil der Reisenkennlinie (vgl. Fig. 2) gleichgesetzt werden kann. Während nämlich der Verlauf von "rsoll_acker" gleichmäßig durch die PT1-Filterung ansteigt, zeigt der Verlauf von "r_by" einen Einbruch zwischen (bspw.) 0,15 s und 0,88 s (Sekunden), der in diesem Zeitraum den Betrag des Sollwertes "rsoll_res" bestimmt. In diesem Beispiel, bei dem wegen nicht vorhandener Reifensättigung eine Verkleinerung des Gierraten-Sollwertes rsoll_acker durch r_by in der Minimumbildung nicht nötig ist, wäre eine Dynamik für r_by wie vom rsoll_acker-Signal wünschenswert, so dass r_by bei dynamischen Übergängen ohne Reifensättigung keinen Einfluss auf den Giersollwert rsoll_res hat. Optimal wäre ein Verlauf von r_by, wie er in Fig. 3 als "r_by_wunsch" (mit -o-o-o- gekennzeichnet) dargestellt ist, mit einem dynamischen Verhalten wie rsoll_acker (in Fig. 3 mit -x-x-x- gekennzeichnet) und mit einem Stationärverhalten wie Gierrate r (in Fig. 3 breit - - -) und r_by (in Fig. 3 in dünn ausgezogener Linie dargestellt).

[0052] Im Rahmen einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann nun dem Signal der Querbeschleunigung "r_by" das dynamische Verhalten der Größe "rsoll_acker" aufgeprägt werden, d. h. es erfolgte ein Dynamikgleich von "r_by" an die Gierratensollwerte der Modellvorsteuerungen.

[0053] Im linearen Fall sollte das Signal "r_by" keinen Einfluss auf das Stellkommando haben. Erst wenn die Reifensättigung wirksam wird und der Wert von "r_by" absinkt, sollte "r_by" in der Minimumbildung die Sollgierraten reduzieren. Durch das charakteristische "Aufziehen" der Querbeschleunigung, sichtbar in einer Sprunganregung, würde auch im linearen Fall r_by in der Minimumbildung Einfluss bekommen, da es im dynamischen Übergang auf den neuen Stationärwert kurzzeitig unter den Wert von "rsoll_acker_min" absinken kann (vgl. Sprungantwort des Signals "r_by" in Fig. 3). Um dies zu verhindern, wird vorgeschlagen, die Dynamik des Signals "r_by", jedoch nicht seine stationären Eigenschaften, an die Dynamik der Gierratensollwerte "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max" anzupassen. Das kann geschehen, indem dem Signal "r_by" ein anderes Signal hinzugefügt wird, das durch die in den Modellvorsteuerungen enthaltenen Einspurmodelle ohne Schwierigkeiten zur Verfügung steht, nämlich die Schwimmwinkelgeschwindigkeit $\dot{\beta}$ (= beta_pkt_Mod).

[0054] Aufgrund der kinematischen Gleichung (12)

$$(Gl.12) \quad \frac{by}{V} - \dot{\beta} = r$$

wird die Rolle der Schwimmwinkelgeschwindigkeit $\dot{\beta}$ zur Veränderung der Dynamik von "r_by" für die Minimumbildung deutlich; vgl. Gleichung (13):

$$(13) \quad r_{by} - \text{beta_pkt_Mod} = r_{by_vorhalt}$$

[0055] Die Größe "r_by_vorhalt" besitzt dabei die dynamischen Eigenschaften der Sollgierraten. Da die Schwimmwinkelgeschwindigkeit "beta_pkt_Mod" im Stationärfall Null ist, ist sichergestellt, dass das für die Minimumbildung wichtige Stationärverhalten der Größe "r_by" nicht verändert wird. Das Signal "r_by" erfährt hierdurch eine Phasenanhebung im mittleren Frequenzbereich. Da die Addition von beta_pkt_Mod neben dem Geschwindigkeitsparameter nur vom Lenkwinkel abhängig ist, verändert sie das Stabilitätsverhalten des Reglers nicht. Sie stellt einen sog. "Lenkvorhalt" für r_by dar.

[0056] Fig. 9 zeigt dabei zwei Modellvorsteuerungen. Hier sind zwei Modellvorsteuerungen notwendig, da zwei Gierratensollwerte generiert werden müssen, nämlich "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max". Der Vorteil der vorgeschlagenen Regelungsstrategie liegt hier also darin, dass die für den beschriebenen Lenkvorhalt notwendige Schwimmwinkelgeschwindigkeit von den Modellvorsteuerungen zur Verfügung gestellt werden kann.

[0057] Im Sinne einer vorteilhaften Weiterbildung kann noch eine weitere Verbesserung zur Vermeidung von uner-

DE 101 41 273 A 1

wünschten Stellkommandos bei hochfrequenten Lenkradanregungen und bei geneigten Fahrbahnen eingeführt werden. Bei seitlich geneigten Fahrbahnen erfährt nämlich die Querbeschleunigungsmessung und damit auch das Signal für die Größe "r_by" einen sog. Offset durch die Gravitationskraft, der bei kleinen Fahrbahnneigungswinkeln etwa proportional zum Neigungswinkel φ ist, vgl. Gleichung (14):

$$(Gl.14) \quad r_{by_offset} = \frac{g \cdot \sin(\varphi)}{V} \approx \frac{g \cdot \varphi}{V} .$$

[0058] Sind die Giersollwerte aus den Modellvorsteuerungen ungleich Null, wie bspw. in einer stationären Kurve, so kann sich dieser Offset auf das Stellkommando in unerwünschter Weise auswirken. Um dies zu verhindern, kann die Größe "rsoll_acker_min" vorab um einen mit der Größe "r_by_offset" gleichbedeutenden Betrag "r_by_offset_par" reduziert werden, wozu auch auf die beigefügte Fig. 10 verwiesen wird. Es entsteht das Signal "rsoll_acker_min_offset", dessen Betrag gebildet wird durch Gleichungen (15). (16):

$$(Gl.15) \quad \text{abs}(rsoll_acker_min_offset) =$$

$$= \max [(\text{abs}(rsoll_acker_min) - r_{by_offset_par}), 0]$$

$$(16) \quad r_{by_offset_par} > 0$$

[0059] Das Vorzeichen von "rsoll_acker_min_offset" entspricht dem Vorzeichen von "rsoll_acker_min". Ein geringer Nachteil besteht darin, dass die im Falle einer Reifensättigung wichtige Reduzierung des Gierratenwertes abgeschwächt wird, weshalb die Größe "r_by_offset_par" nicht zu groß gewählt werden sollte.

[0060] Ein Vorteil dieser vorgeschlagenen Maßnahme besteht darin, dass unerwünschte Stellkommandos unterdrückt werden, die im Falle hochfrequenter Lenkwinkelverläufe, bspw. bei einer Lenkwinkel-Sinusanregung mit 3 Hz, entstehen. In diesem hochfrequenten Bereich wird die Abweichung zwischen der Regelstrecke und den Einspurmodellen in den Modellvorsteuerungen, die die Regelstrecke darstellen sollen, besonders deutlich. Gründe dafür sind zum einen die in den Einspurmodellen vernachlässigten dynamischen Effekte, wie bspw. die seitliche Reifenbewegung auf der Felge, die Achskinematik und der Einfluss des Wankens auf die Querbeschleunigungsmessung. Ein anderer Grund ist es die meist vorhandene parametrische Abweichung bezüglich der Masse, der Schwerpunktallage, des Gierträgheitsmomentes und der Schräglauftsteifigkeiten in den Einspurmodellen der Modellvorsteuerungen.

[0061] Aus diesen Gründen wird insbesondere bei hohen Frequenzen der mit der Schwingungswinkelgeschwindigkeit β_{pk1_Mod} (vgl. Fig. 9) arbeitende Lenkvorhalt ungenau. Die Folge ist, dass im linearen Fall das Signal "r_by_vorhalt" nicht mehr stets zwischen "rsoll_acker_min" und "rsoll_acker_max" liegt, sondern zeitweise zwischen "rsoll_acker_min" und dem Wert "Null" bzw. in der graphischen Darstellung der Zeitachse. Dadurch würde "r_by_vorhalt" in die Sollwertbildung unerwünschterweise eingreifen (vgl. Fig. 11). Letzteres kann zu einer Vergrößerung der Regeldifferenz und damit zu unerwünschten Stellkommandos bei einer hochfrequenten Lenksinus-Anregung führen. Durch Einführung des Offsets auf der kleinen Sollgierrate durch obige Gleichung (Gl. 15) kann dieses Problem jedoch beseitigt werden, wie auch aus der genannten Fig. 11 hervorgeht. Dann greift "r_by_vorhalt" im linearen Fall nicht mehr in die Sollwertbildung ein, da "rsoll_acker_min_offset" bereits vom Wert "Null" ist, wenn "r_by_vorhalt" den Wert Null bzw. die in der Figur dargestellte Zeitachse kreuzt.

[0062] Es sei darauf hingewiesen, dass durchaus eine Vielzahl von Details auch abweichend von obigen Erläuterungen gestaltet sein kann, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen. Stets erhält man jedoch ein Verfahren, mit dem die Schleuderneigung eines Fahrzeugs durch aktive Lenkeingriffe sicher reduziert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Fahrstabilität bei einem Fahrzeug, welches durch einen Regeleingriff am Fahrzeug ein einer Fahrzeug-Instabilität entgegenwirkendes Giermoment bewirkt und wobei das Maß des Regeleingriffes von einem Reglerkommando abhängt, welches in Abhängigkeit von der Differenz aus dem Quotienten von Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und der tatsächlich auftretenden Gierrate andererseits bestimmt wird, derart, dass das Reglerkommando in Abhängigkeit des Minimums aus den Absolutwerten des Quotienten aus Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit einerseits und eines berechneten Gierraten-Sollwertes andererseits gewählt wird, wobei dieser berechnete Gierraten-Sollwert vorzugsweise unter Verwendung der Ackermann-Beziehung in Abhängigkeit vom Fahrer-Lenkinkel bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein kleinerer Gierraten-Sollwert und ein größerer Gierraten-Sollwert berücksichtigt wird, wobei kein Regeleingriff erfolgt, wenn die tatsächliche Gierrate zwischen diesen beiden Gierraten-Sollwerten liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der kleinere Gierraten-Sollwert mit dem Quotienten aus Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit minimiert wird, während der größere Gierraten-Sollwert im wesentlichen um den gleichen prozentualen Betrag minimiert wird wie der kleinere Gierraten-Sollwert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine zusätzliche Vorsteuerung, die auf einem linearen Modell ohne Berücksichtigung von Reifen-Sättigungserscheinungen beruht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine sog. Modellvorsteuerung durchgeführt wird, in der die Vorsteuerung und die Sollwertbildung für die Gierraten-Sollwerte unter gegenseitiger Abstimmung integriert ist, wofür ein im Regelalgorithmus dargestelltes Modell der Regelstrecke mit einem Regelkreis versehen ist, der diesem Modell ein wünschenswertes Führungsverhalten aufprägt.

DE 101 41 273 A 1

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Quotient von Fahrzeugquerbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit zur Bildung eines Vorhaltewertes um eine mit Hilfe eines lenkwinkelabhängigen Modells berechnete Schwimmwinkelgeschwindigkeit verringert wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ermittlung des kleineren Gierraten-Sollwerts ein eine seitliche Fahrbahnneigung repräsentierender Offset berücksichtigt wird.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

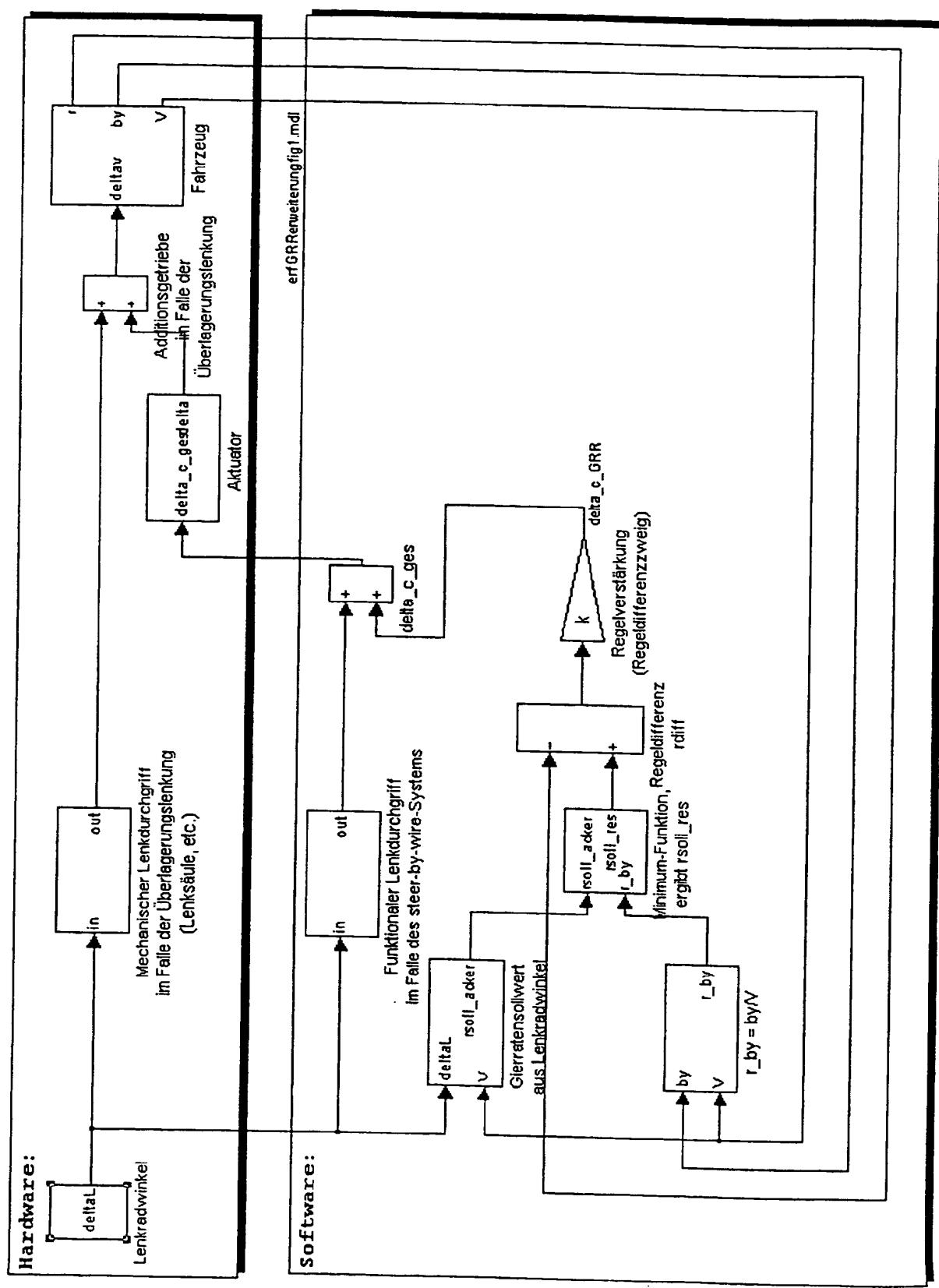
50

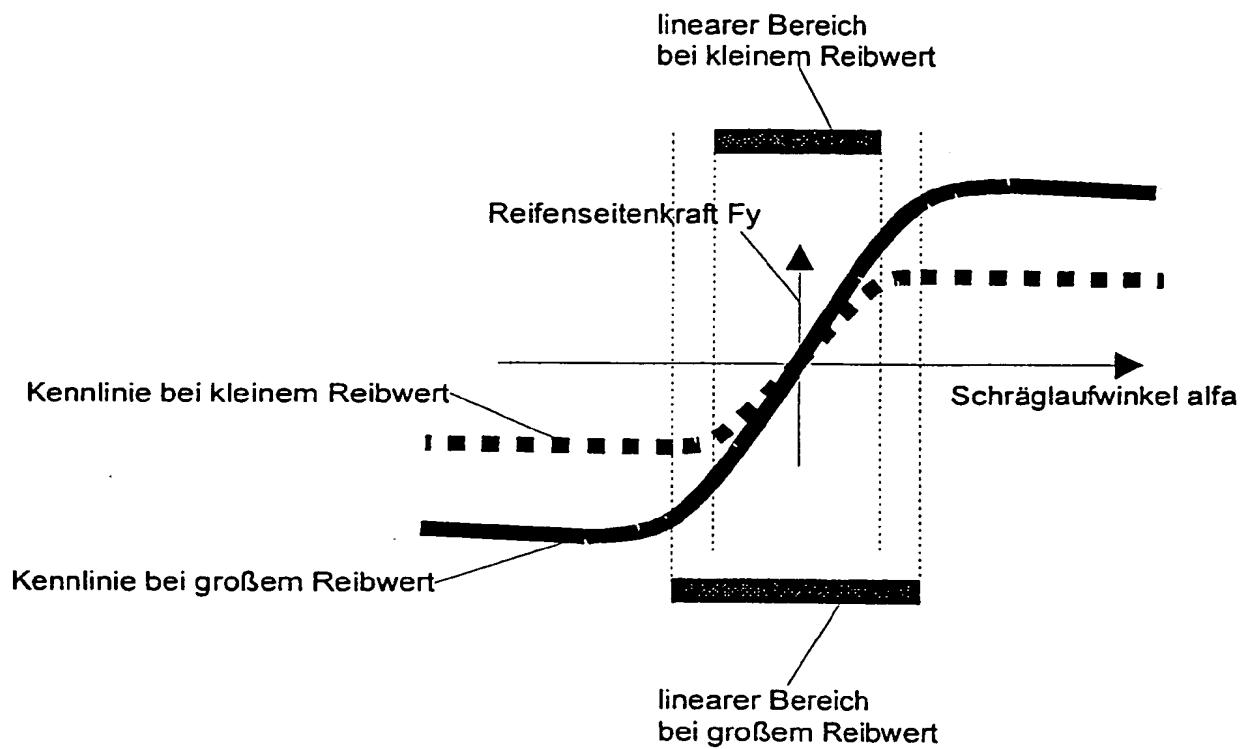
55

60

65

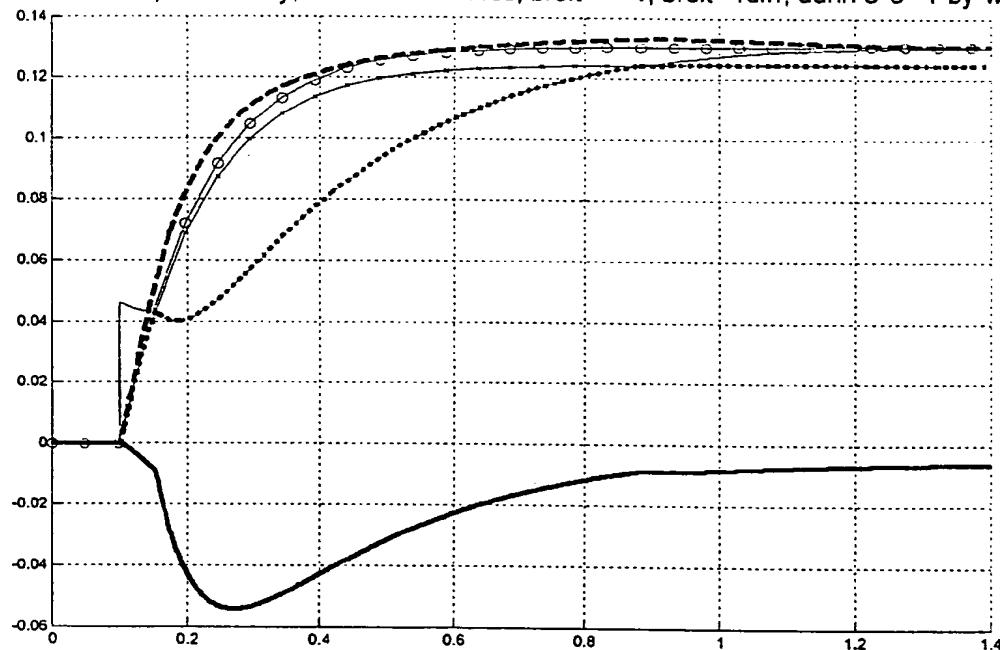
- Leerseite -

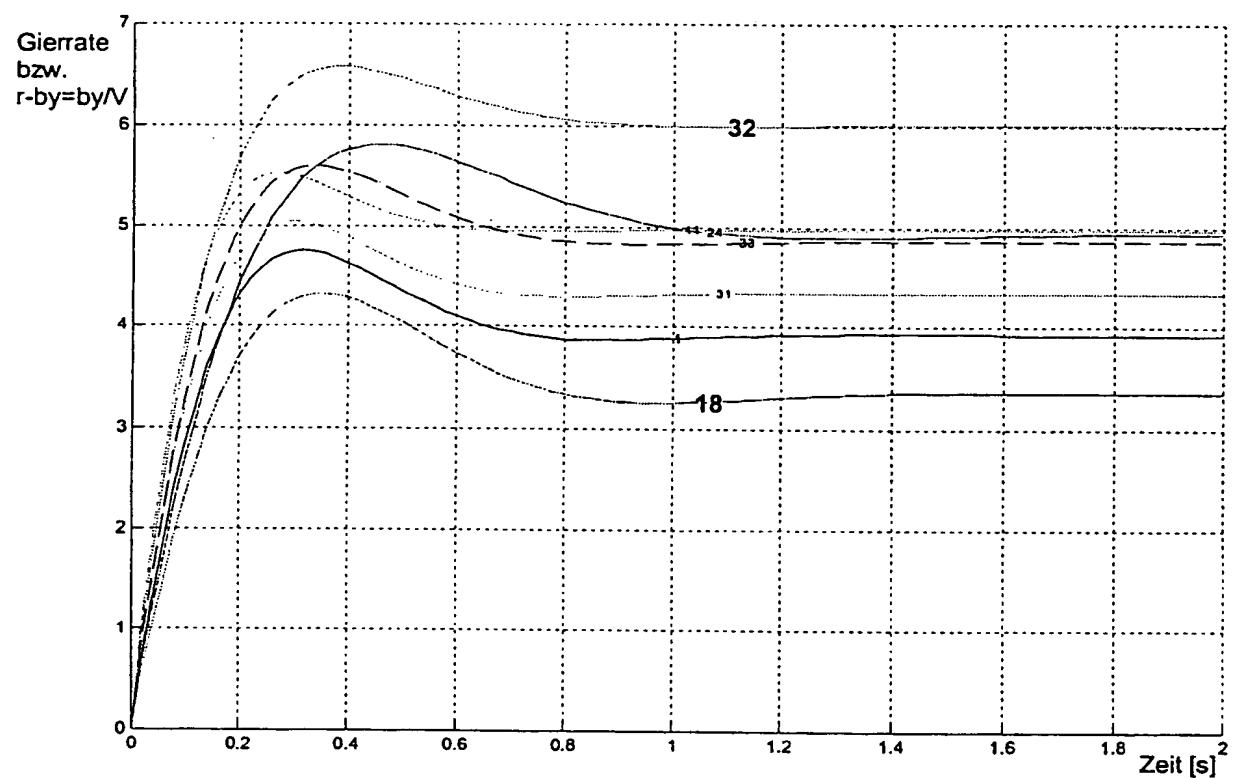
Figur 1

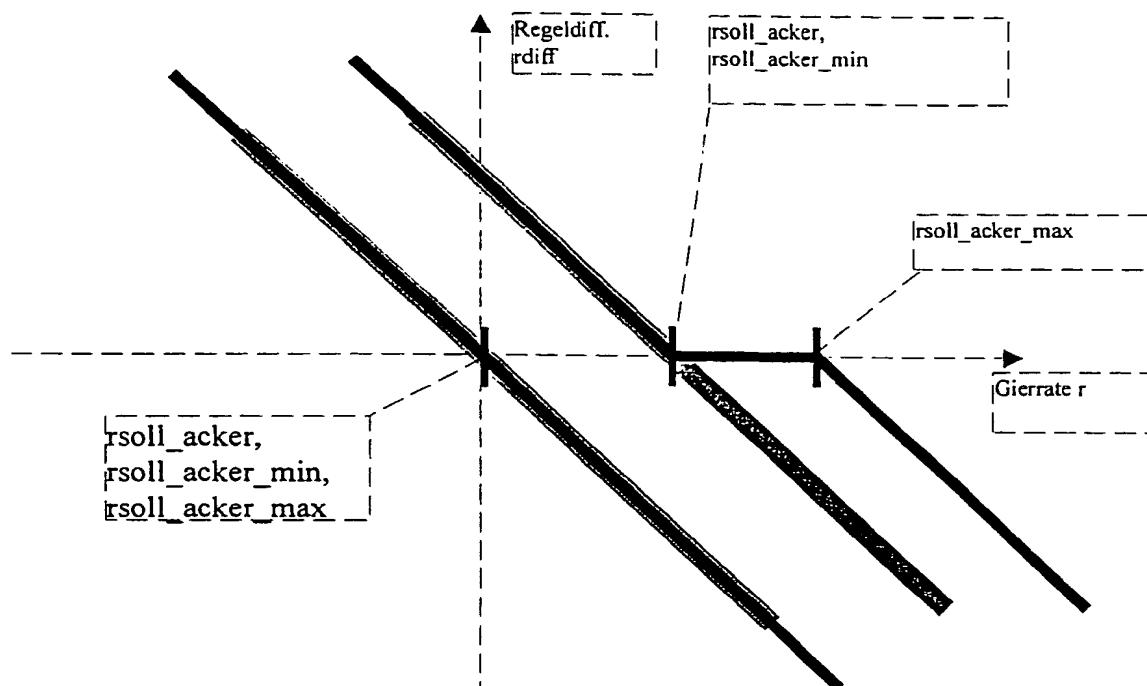
Figur 2

Figur 3

dünn-x-x=r soll-acker, dünn=r-by, breit . . . =r soll-res, breit- - --=r, breit=r diff, dünn-o-o=r-by-wunsch

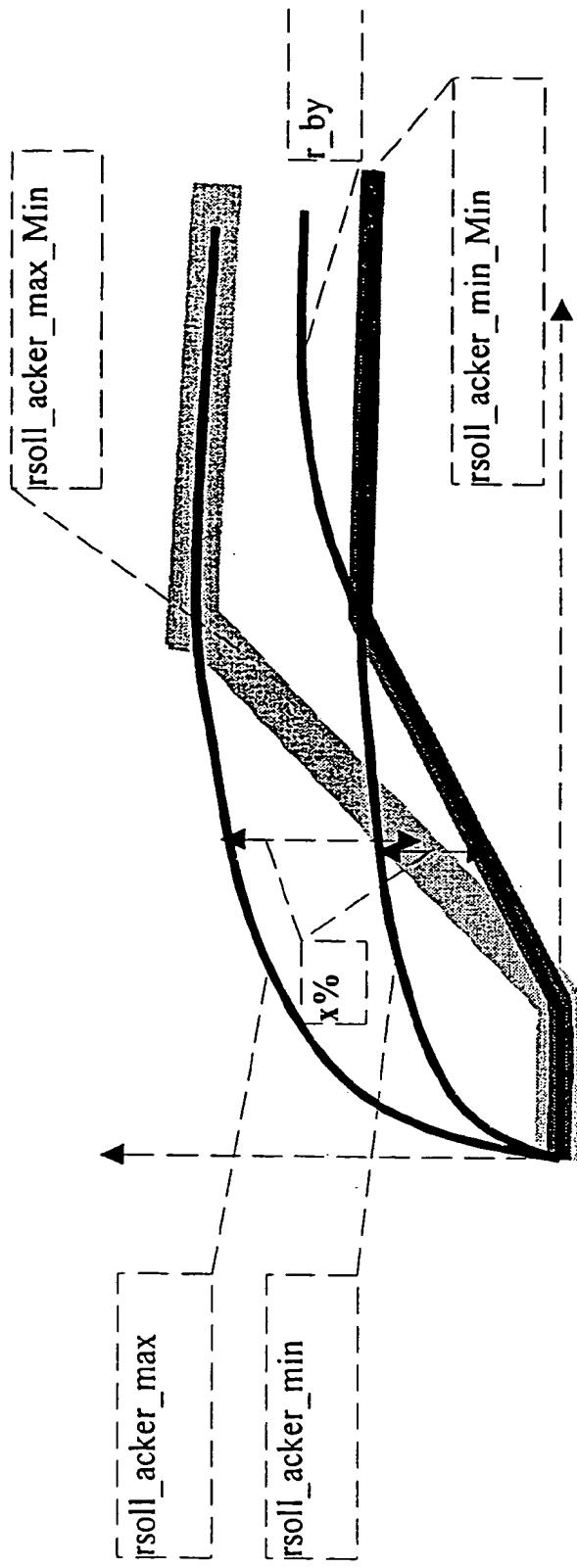


Figur 4

Figur 5

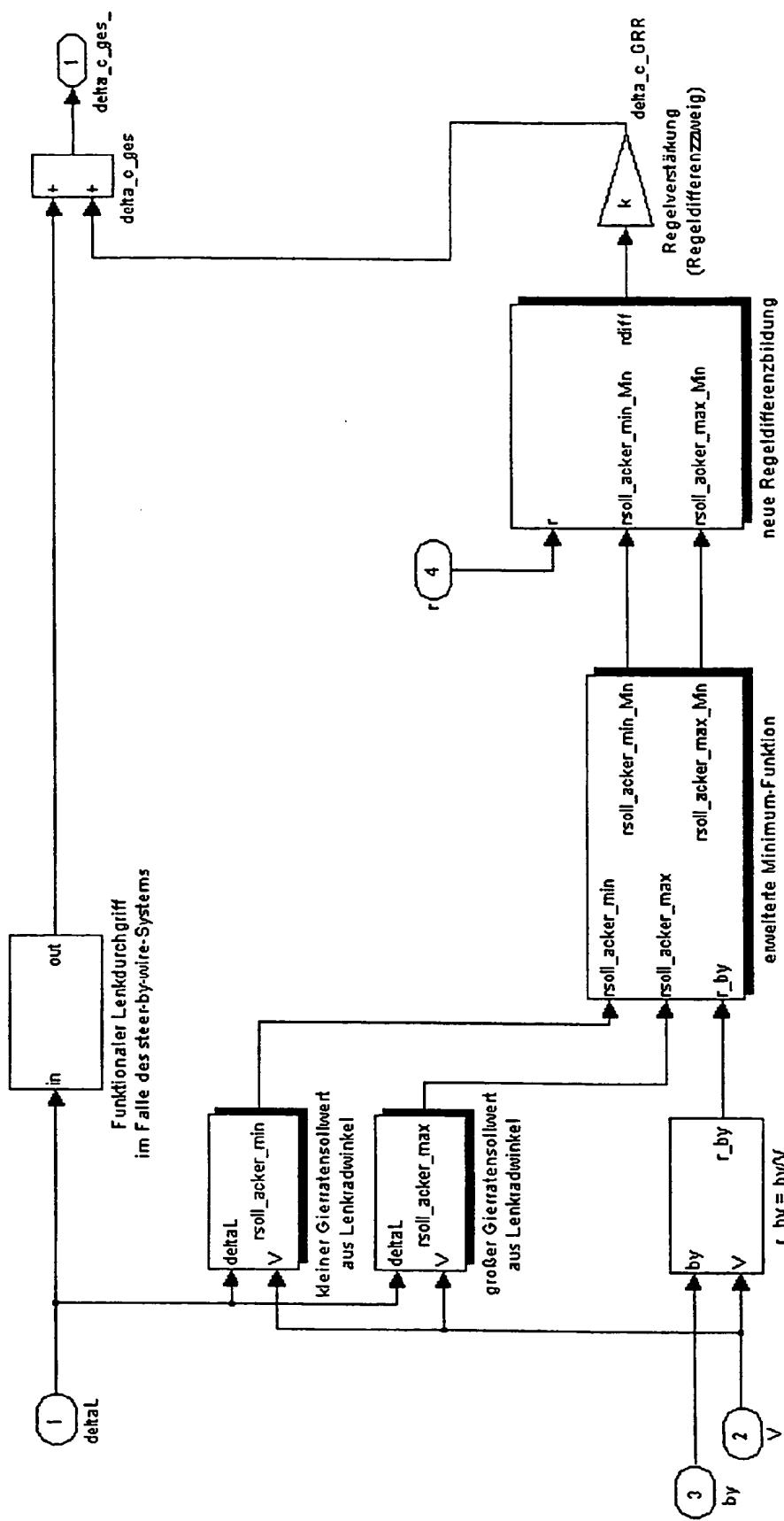
Grau: konventionelle Regeldifferenz-Bildung

Schwarz: Regeldifferenz-Bildung mit sollwertabhängiger Totzone



Figur 6

Figur 7



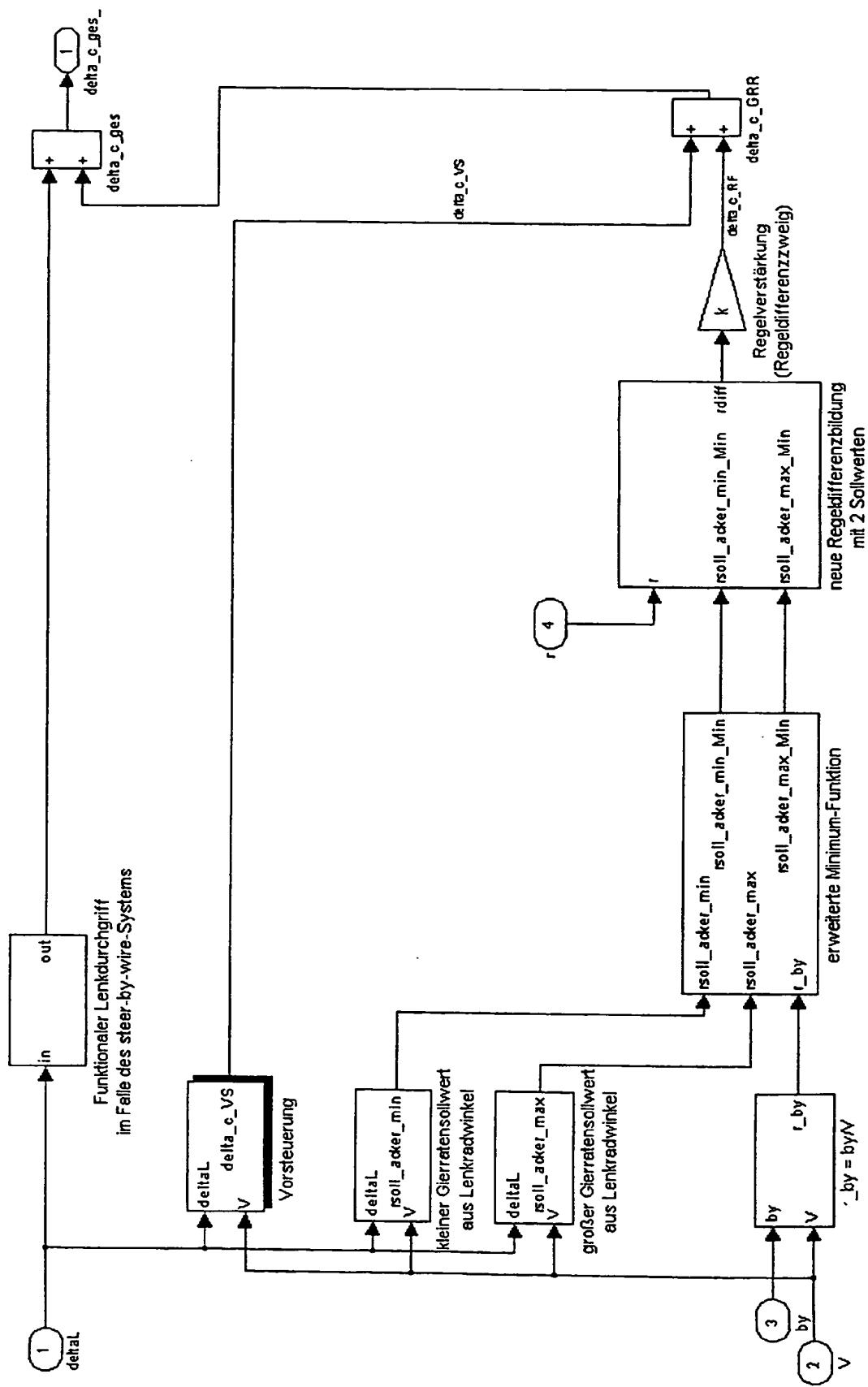
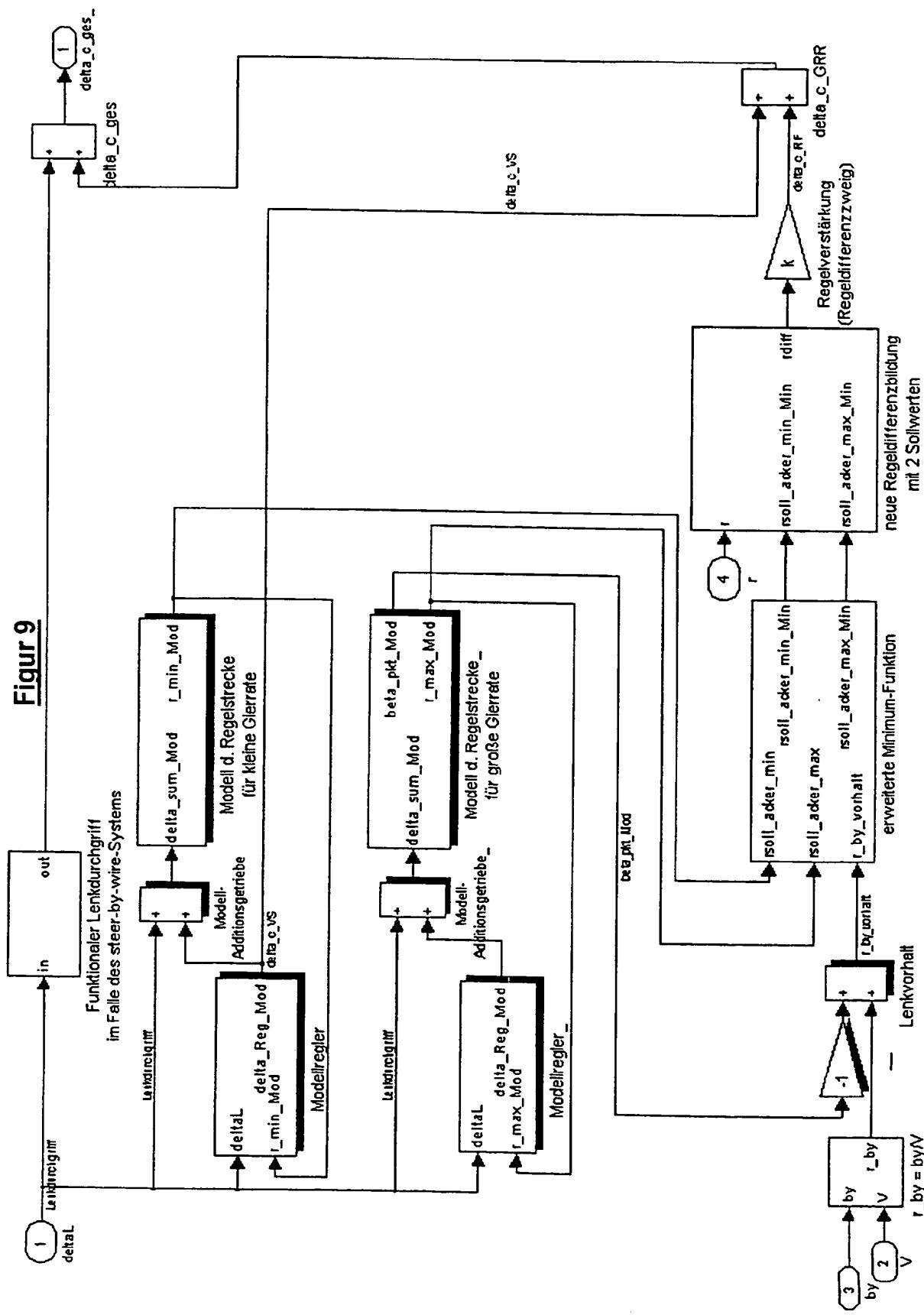
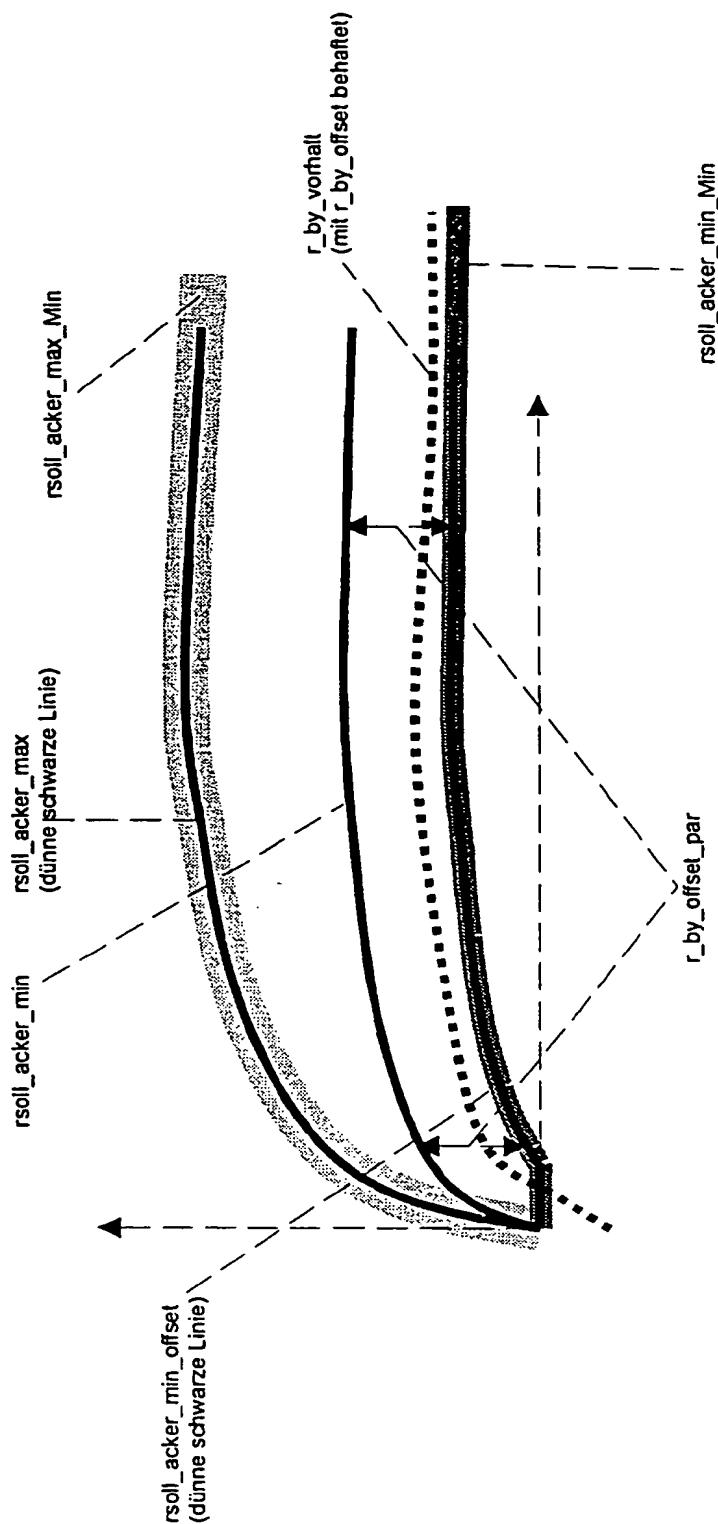
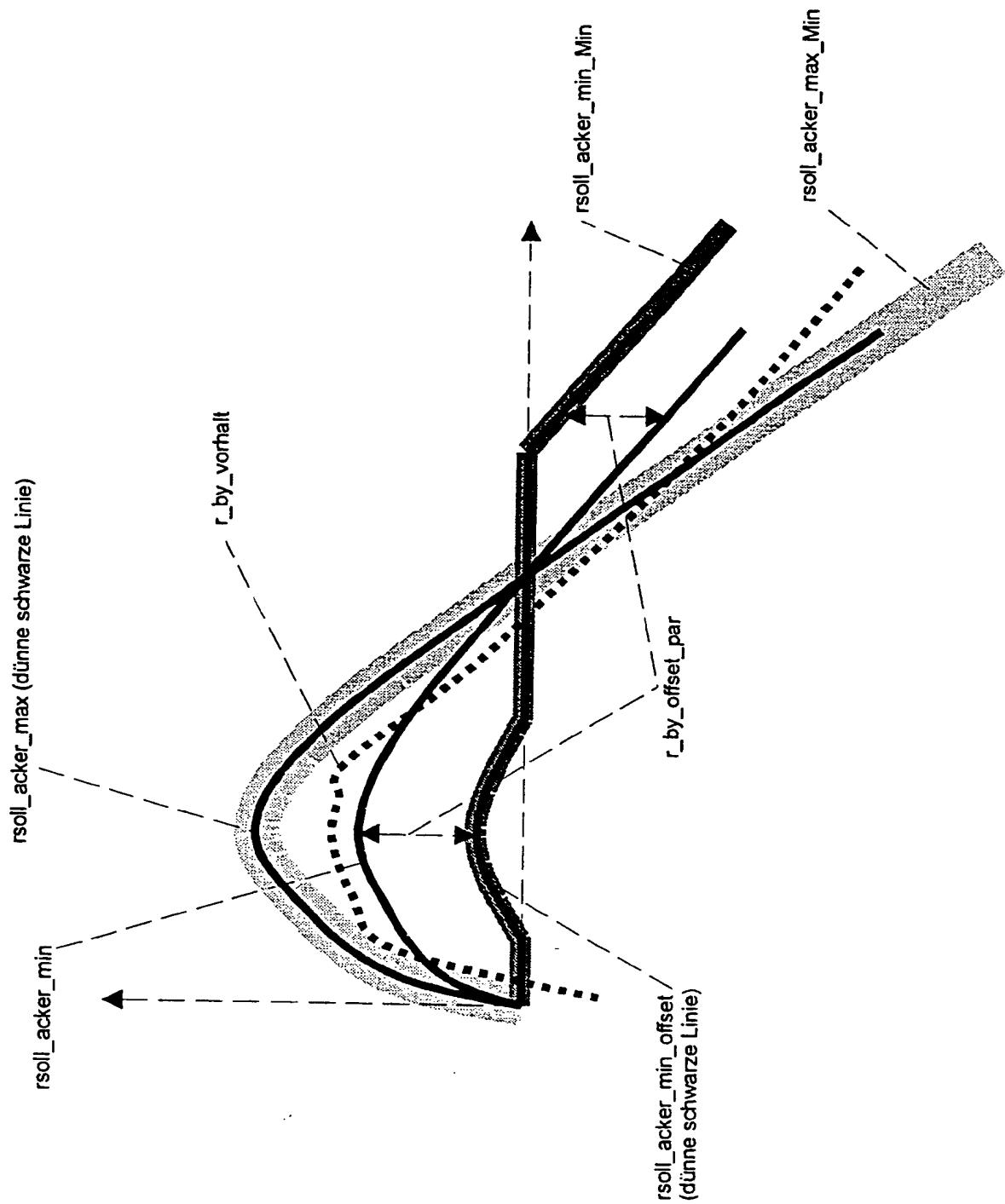
Figur 8

Figure 9



Figur 10



Figur 11